

ИНДЕКС 3649



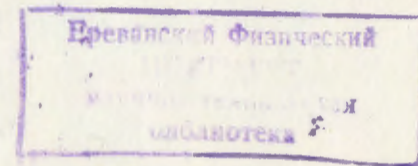
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Препринт ЕФІ-1201(78)-89

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԶԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
YEREVAN PHYSICS INSTITUTE

А.А.СААКЯН, Г.Н.ЕРИЦЯН, А.С.ОГАНЕСЯН,
С.К.НИКОГОСЯН

ИЗМЕРЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ МАГНИТНОЙ
ВОСПРИИМЧИВОСТИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
СВЕРХПРОВОДНИКОВ С ПОМОЩЬЮ
ТРАНСФОРМАТОРНОЙ МОСТОВОЙ СХЕМЫ



ЦНИИАтоминформ
ЕРЕВАН - 1989

Ա.Ա.ՍԱՀԱԿՅԱՆ, Հ.Ն.ԵՐԻՑՅԱՆ, Ա.Ա.ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ
Ա.Կ.ՆԻԿՈՑԻՍՅԱՆ

ԲԱՐՁՐ ԶԵՐՄԱՍՏԻԺԱՆԱՑԻՆ ԳԵՐՀԱՂՈՐԴԻՉՆԵՐԻ ԿՈՄՊԼԵՔՍ
ԸՆԿԱԼՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ՉԱՓՈՒՄԸ ՏՐԱՆՍՓՈՐՄԱՏՈՐԱՑԻՆ
ԿԱՄՐՋԱԿԻ ՍԽԵՄԻ ՄԻՋՈՑՈՎ

Մշակված է բարձր ջերմաստիճանային գերհաղորդիչների կոմպլեքս մագնիսական ընկալունակության $\chi' - \chi''$ չափման սխեմա՝ հիմնված տրանսֆորմատորային կամրջակի բազուկներից մեկը հանդիսացող և հետագոտվող նմուշն ընդգրկող չափիչ կոմբի կոմպլեքս հաղորդականության զրոանցման վրա համախոլթյունների հետևյալ տիրույթում՝ 270Հց-20կՀց: Մագնիսական դաշտի ամպլիտուդը փոփոխվում է 10մԷ-500մԷ միջակայքում Սխեմի զգայնությունը ըստ ինդուկտիվության կազմում է $\Delta L \sim 2$ մկՀն, իսկ ըստ ակտիվ բաղադրիչի՝ $\Delta R \sim 0,020$ օմ: Զերմաստիճանի չափման մըզ-զըրտությունը $\pm 0,1$ Կ է: $Y-Ba-Cu-O$ միացության համար բերված են մի քանի կորեր, որոնք ստացված են 50 մԷ ամպլիտուդով օժտված մագնիսական դաշտի առկայության պայմաններում և համախոլթյան 270Հց, 1,3կՀց, 5կՀց և 20կՀց արժեքների դեպքում: Համեմատելով զրականության մեջ գոյություն ունեցող տեղեկությունների հետ, նկատվում է χ'' -ի ջերմաստիճանային կախվածության կորերի տեսքի նկատելի տարբերություն՝ ըստ կոտաված մագնիսական դաշտի փոփոխման համախոլթյան:

Նրևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ
Նրևան 1989

A.A. SAHAKIAN, H.N. ERITSIAN, A.S. HOVANESSIAN,
S.K. NIKOGHOSSIAN

A COMPLEX MAGNETIC SUSCEPTIBILITY MEASURING SYSTEM
FOR HIGH TEMPERATURE SUPERCONDUCTORS WITH
A TRANSFORMER BRIDGE CIRCUIT

A measuring system for the complex magnetic susceptibility $\chi' - \chi''$ of high-temperature superconductors is developed. The system is based on recording the change in the magnitude of the complex conductivity of a measuring coil with a sample inserted in the arm of a transformer bridge in the range of frequencies from 270 Hz to 20 kHz. The amplitude of the magnetic field ΔL changes from 10 mOe to 500 mOe; the inductance sensibility is about 2μ H, the sensibility of the active component ΔR is about 0.02Ω . The temperature measurement accuracy makes ± 0.1 K. The experimental curves for Y-Ba-Cu-O at frequencies 270 Hz, 1.3 kHz, 5 kHz and 20 kHz, and at the amplitude of the magnetic field of about 50 mOe are obtained. In comparison with the literature data, a noticeable change in the behaviour of the temperature dependence of χ'' on the frequency of the magnetic field is observed.

Yerevan Physics Institute
Yerevan 1989

УДК 538.214:537.312.62

А.А.СААКЯН, Г.Н.ЕРИЦЯН, А.С.ОГАНЕСЯН,
С.К.НИКОГОСЯН

ИЗМЕРЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ
С ПОМОЩЬЮ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ МОСТОВОЙ СХЕМЫ

Разработана схема для измерения комплексной магнитной восприимчивости $\chi' - \chi''$ высокотемпературных сверхпроводников, основанная на измерении величин комплексной проводимости измерительной катушки с образцом, включенной в плечо трансформаторного моста в области частот 270 Гц - 20 кГц. Амплитуда магнитного поля составляет 10 мЭ - 500 мЭ; чувствительность по индуктивности $\Delta L \sim 2$ мкГн, чувствительность по активной составляющей $\Delta R \sim 0,02$ Ом. Точность измерения температуры $\pm 0,1$ К. Получены экспериментальные кривые для Y-Ba-Cu-O на частотах 270 Гц, 1,3 кГц, 5 кГц, 20 кГц при амплитуде магнитного поля ~ 50 мЭ. Наблюдено заметное отличие характера поведения температурной зависимости χ'' от частоты магнитного поля по сравнению с литературными данными.

Ереванский физический институт
Ереван 1989

Одной из наиболее важных областей изучения физических характеристик высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) является исследование их комплексной магнитной восприимчивости $\chi' - \chi''$ при малых синусоидальных магнитных полях $h(t) = h_0 \sin \omega t$. Действительная часть восприимчивости - χ' обусловлена эффектом Мейснера, а мнимая часть - χ'' пропорциональна поглощенной энергии в образце, находящемся в переменном магнитном поле, и дает информацию, по мнению авторов [1], о слабо связанных джозефсоновских цепочках.

Отсутствие стандартной экспериментальной техники диктует необходимость создания экспериментальной системы для измерения магнитных характеристик ВТСП материалов.

Из литературных источников известен метод измерения комплексной магнитной восприимчивости материалов, основанный на взаимной индукции двух одинаковых вторичных катушек, включенных навстречу и помещенных в переменное магнитное поле, которое создавалось первичной катушкой [2]. Выделенный сигнал разделяется в фазовом детекторе на реактивную составляющую - χ' , а с помощью измерения амплитуды третьей гармоники определяется величина мнимой части магнитной восприимчивости - χ'' .

Измерения, выполненные по вышеописанной методике, проводились на разных частотах магнитного поля: 20 - 90 Гц [1,3], 132 Гц [4], 70 - 320 Гц [5], 80 - 500 Гц [6,7], 600 Гц [2], 100 - 700 Гц [8], 10 - 1000 Гц [9]. Амплитуда магнитного поля h_0 в этих работах изменялась в пределах 5 мЭ - 10 Э.

В данной работе предлагается иная методика измерения магнитной восприимчивости материалов, основанная на измерении величины комплексной проводимости катушки с образцом, включенной в плечо усовершенствованного трансформаторного моста Грещмахе-ра [10] в области частот 270 Гц - 20 кГц. Особенностью предлагаемой методики является отсутствие паразитных взаимовлияний измерительных катушек, сравнительно широкий частотный диапазон измерения и простота изготовления.

На рис.1 представлена принципиальная схема измерительного моста и блок-схема системы электронной регистрации. Измерительный мост состоит из измерительного трансформатора 5, измерительных катушек L_0 , а также подстроечных (L, R) и калибровочных (L_k, R_k) индуктивностей и сопротивления. В качестве верхнего плеча измерительного моста служат две первичные симметричные обмотки измерительного трансформатора 5, намотанные в одинаковое количество витков. На среднюю точку первичной катушки от генератора синусоидальных сигналов через переменное сопротивление r подается напряжение. Амплитуда напряжения, и следовательно величина амплитуды магнитного поля регулируются переменным резистором r . В качестве нижнего плеча моста служат измерительные катушки L_0 и последовательно подключенные к ним подстроечные и калибровочные элементы. Измерительные катушки

расположены на одной оси на расстоянии 10 мм и конструктивно выполнены одинаковой геометрией. Внутри этих катушек размещается специальный держатель образца с датчиком температуры C_u и нагревателем образца. Образец располагается таким образом, чтобы он находился в средней части нижней измерительной катушки L_0 . При помощи переменной индуктивности L и переменного резистора R перед измерением мост балансируется. С изменением температуры изменяется магнитная восприимчивость исследуемого образца, которая приводит к изменению индуктивности измерительной катушки L_0 с образцом, и следовательно, разбалансу моста, вследствие чего появляется соответствующий сигнал на вторичной обмотке трансформатора 5. Этот сигнал подается на вход селективного усилителя 2 и после усиления подается на входы фазовых детекторов 3 и 4. Для сравнения фаз к ним подается также сигнал от генератора 1. Один из детекторов по фазе настроен на реактивную составляющую сигнала разбаланса 3, а второй - на активную составляющую 4. Выделенные сигналы подаются на Y входы двухкоординатных самописцев XU . Перед измерением при помощи заранее известных элементов L_k и R_k фазовые детекторы калибруются.

Датчиком температуры служит сопротивление C_u , изготовленное из медного провода, через которое протекает стабилизированный ток от источника тока 6. Напряжение, падающее на сопротивление, усиливается при помощи усилителя 7, и этот сигнал поступает на X входы двухкоординатных самописцев XU .

Вышеописанная измерительная система имеет следующие технические параметры: диапазон частот магнитного поля 270 Гц-20 кГц, амплитуда магнитного поля 10 мЭ - 500 мЭ, чувствительность по

индуктивности: $\Delta L \sim 2$ мГн, чувствительность по активной составляющей $\Delta R \sim 0,02$ Ом. Индуктивности измерительных катушек L_0 и первичных обмоток трансформатора 5 составляют ~ 30 мГн. Точность измерения температуры составляет $\pm 0,1$ К.

На рис. 2 а, б, в, г представлены экспериментальные кривые температурной зависимости реактивной и активной составляющей магнитной восприимчивости γ -Ba-Cu-O вблизи температуры перехода T_c . Изменение величины индуктивности L_0 , вызванное введением образца в измерительную катушку, составляло $\sim 0,3$ мГн, а величина изменения активной части сопротивления $\sim 1,0$ Ом.

Как видно из приведенных экспериментальных данных, кривые, описывающие температурную зависимость фактора Мейснера (χ') вблизи температуры сверхпроводящего перехода T_c , качественно не изменяются в данном частотном диапазоне. В отличие от этого, температурный ход мнимой части магнитной восприимчивости (χ''), обуславливающей диссипацию энергии в измеряемом образце, существенно изменяется от частоты магнитного поля. До некоторой "характеристической" частоты магнитного поля (2 - 3 кГц) диссипация энергии в образце ниже температуры T_c постоянна. Вблизи T_c она скачкообразно уменьшается и выше этой температуры остается неизменной. Выше частоты 3 кГц в сверхпроводящем состоянии диссипация энергии в образце уменьшается и в области температуры сверхпроводящего перехода появляется пик χ'' . Качественно аналогичная картина получается при более высоких частотах магнитного поля до 20 кГц. Наблюдаемый пик χ'' при частоте выше 3 кГц согласуется с литературными данными [5,7], полученными для другого типа ВТСП. Однако полученные нами экспериментальные дан-

ные температурной зависимости χ'' ниже 2 кГц существенно отличаются от результатов этих авторов, которые проводили исследования в области частот 70 - 700 Гц. По-видимому, такое отличие связано с особенностями физических свойств исследуемых образцов.

Приведенные экспериментальные кривые комплексной магнитной восприимчивости $\chi' - i\chi''$ для γ -Ba-Cu-O показывают существенно высокую информативность этой методики по сравнению с традиционными измерениями температурной зависимости индуктивной составляющей χ' вблизи температуры перехода T_c . Это обстоятельство, по нашему мнению, может играть определенную роль в понимании физического механизма появления высокотемпературной сверхпроводимости в ВТСП материалах.

Таким образом, предложенная схема позволяет исследовать комплексную магнитную восприимчивость ВТСП материалов в сравнительно широком диапазоне частот и амплитуд магнитного поля с достаточно высокой точностью. Она может быть применена также для исследования магнитных параметров других материалов.

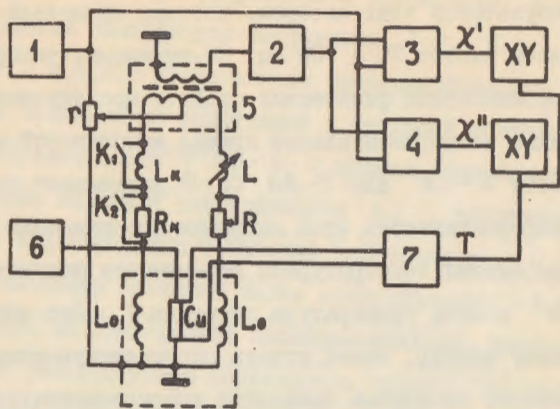


Рис.1 Блок-схема измерительной системы для измерения χ' и χ''
 1 - генератор синусоидальных сигналов; 2 - селективный усилитель; 3, 4 - фазовые детекторы; 5 - измерительный трансформатор; 6 - источник постоянного тока; 7 - усилитель постоянного напряжения; r - регулятор амплитуды магнитного поля; $L_k = 100$ мкГн, $R_k = 2$ Ом - калибровочные элементы; K_1 , K_2 - переключатели калибровочных элементов; $L = 0,3 - 1,5$ мГн, $R = 10$ Ом - переменные подстроечные индуктивность и сопротивление; C_u - медное сопротивление, датчик температуры; $L_0 \approx 30$ мГн - измерительные катушки; XY - двухкоординатный самописец.

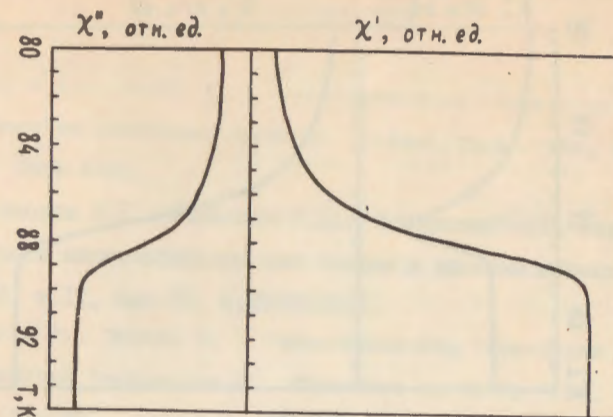


Рис.2а

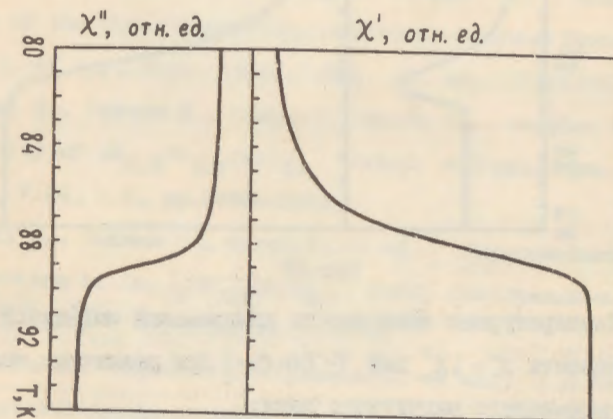


Рис.2б

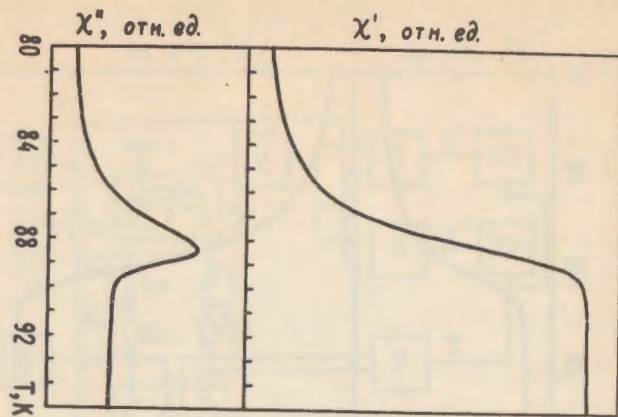


Рис.2в

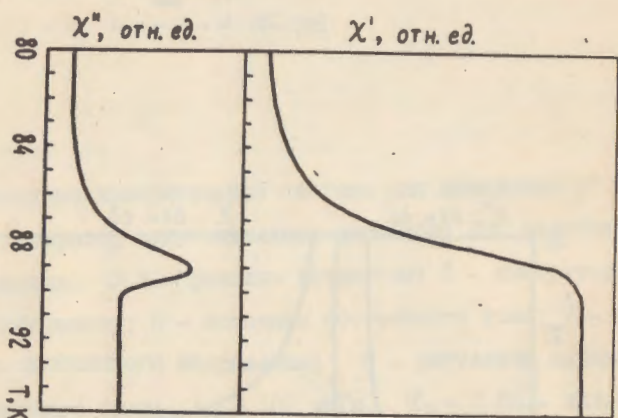


Рис.2г

Рис.2 Температурная зависимость комплексной магнитной восприимчивости $\chi' - i\chi''$ для Y-Ba-Cu-O при различных частотах переменного магнитного поля:

- а) $f = 270$ Гц; б) $f = 1,3$ кГц; в) $f = 5$ кГц;
г) $f = 20$ кГц.

1. Ishida T., Mazaki H. Superconducting Transition of Multiconnected Josephson Network. *J Appl. Phys.* 1986, V.52(11), pp. 6898-6905.
2. Богомолов В.Н., Малюков Р.И., Чудновский Ю.А. Сверхпроводимость метастабильных фаз теллурида в прослойках оксидов. *ФТТ*, 1969, т. II, вып. 10, с. 2835-2840.
3. Ishida T., Mazaki H. Superconducting Transition of Electrodeposited Technetium 22. *Phys Rev B*, 1979, V.20, No. 1, pp. 131-138.
4. Mazaki H., Ueda Y., Ashara Y. et al. Possible Existence of a Superconducting Phase in Highly Oxygen-deficient $YBa_2Cu_3O_y$ ($y < 6.5$). *J Appl Phys.* 1989, V.28, N.3, pp. L368-L370.
5. Sumiyama A., Ende H., Tsuchiyama J. et al. A.C.C. Susceptibility of the Superconducting $Bi(Pb)-Sr-Ca-Cu-O$ Systems. *Jap. J. of Appl. Phys.* 1989, V.28, N.3, pp. L373-L376.
6. Mazaki H., Takano M., Kamino H., Sakada Y. Complex Susceptibility of $La_{1.9}Sr_{0.1}CuO_{4-x}$. *Jap. J. of Appl. Phys.*, 1987, Pt.2, V.26, N.5, pp. L780-L782.
7. Mazaki H., Takano M., Hirohizze et al. Superconducting Transition of $La_{1.9}Sr_{0.1}CuO_{4-x}$. *Bull. Inst. Chem. Res. Kyoto Univ.*, 1987, V.65, N.4, pp. 1437-1448.
8. Kusakura H., Toggono K., Takahashi K. et al. A.C. Complex Susceptibility Measurement in Sintered $Bi-Sr-Ca-Cu-O$ and $Tl-Ba-Ca-Cu-O$ Superconductors. *Jap. J. of Appl. Phys.*, 1988, V.27, N.11, pp. 12059-12062.

9. Goldfarb R.B., Clark A.F., Braginaki A.I., Panson A.J.
Evidence for Two Superconducting Components in Oxygen -
Annealed Single Phase Y-Ba-Cu-O, "Cryogenics", 1987, V.27,
N.9, pp.475-480.

10. Измерения в электронике, справочник. Энергия, М.: 1965,
т. I, с. 103.

Рукопись поступила 19 сентября 1989 г.

А.А.СААКЯН, Г.Н.ЕРИЦЯН, А.С.ОГАНЕСЯН, С.К.НИКОГОСЯН
ИЗМЕРЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ВЫСОКОТЕМПЕРА-
ТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ С ПОМОЩЬЮ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ МОСТОВОЙ
СХЕМЫ

Редактор Л.П.Мукаян

Технический редактор А.С.Абрамян

Подписано в печать 17/Х-89г. ВД-02376 Формат 60x84/16
Офсетная печать. Уч.изд.л.0,8 Тираж 299 экз. Ц. 10 к.
Зак.тип.№ 1717 Индекс 3649

Отпечатано в Ереванском физическом институте
Ереван 36, ул.Братьев Алякян, 2